



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 41 05 726 C 1

⑤① Int. Cl.⁵:
C 12 M 1/04
B 01 F 3/04
C 02 F 3/20

②① Aktenzeichen: P 41 05 726.0-41
②② Anmeldetag: 23. 2. 91
④③ Offenlegungstag: —
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 9. 92

DE 41 05 726 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Altensen, Reinhold, Dipl.-Ing., 6315 Mücke, DE;
Söhngen, Karl-Hermann, 5242 Kirchen, DE;
Stadlbauer, Ernst A., Prof. Dr., 6301 Biebertal, DE

⑦④ Vertreter:

Missling, A., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 6300 Gießen

⑦⑦ Erfinder:

gleich Patentinhaber

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

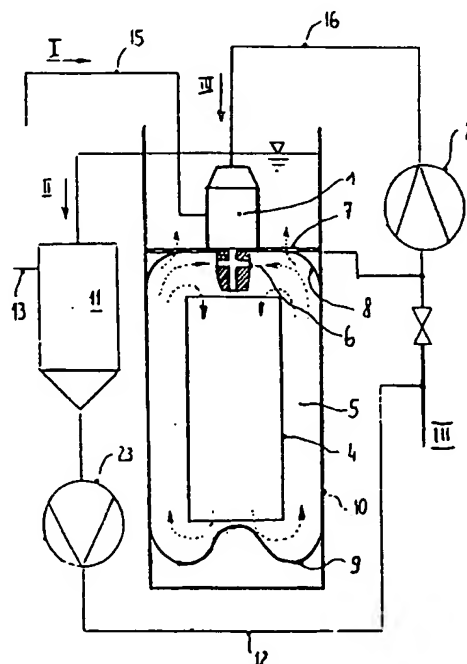
DE-PS 9 20 844
DE-AS 24 33 414
DE 70 32 241 U1

⑤④ Verfahren und Einrichtung für den Betrieb von begasten Bioreaktoren

⑤⑦ Bei dem Betrieb von begasten Bioreaktoren mit einer schlaufenförmigen Zirkulation der Suspension im Reaktorbehälter wird zur Verbesserung des mikrobenschonenden Sauerstoffeintrages in die Suspension und zur Erhöhung der mikrobiellen Stoffwechseltätigkeit und einer besseren Ausnutzung der Biomasse eine Mischdüse mit drei Mischstrecken verwendet, wobei in der Mischstrecke A und B eine innige Vermischung des Gas-Substrateintrages erfolgt und in der dritten Mischstrecke C eine Vermischung der aus dem Reaktorbehälter angesaugten Suspension mit dem mit Gas vermischten Substrat erfolgt.

Durch die Schaffung von sehr großen Phasengrenzflächen in Verbindung mit der optimierten Zufuhr des notwendigen Sauerstoffs sowie dem gezielten Abtransport der Stoffwechselprodukte wird eine hohe Stoffumsatzrate (Stoffwechselleistung) möglich.

Die Reaktorgeometrie sowie die strömungstechnischen Einbauten sorgen zusammen mit der dreistufigen Mehrstoffdüse für totraumfreie, gleichverteilte Suspensionsabführung. Dadurch wird eine optimale Reaktionsraumausnutzung sichergestellt.



DE 41 05 726 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für den Betrieb von begasten Bioreaktoren zum Verbessern der schlaufenförmigen Zirkulation einer in den Reaktorbehälter eingebrachten, aus einem Substrat und darin befindlichen Mikroorganismen bestehenden Suspension, die mit einem Gasstrom in einer Mischdüse gemischt wird, wobei die Umwälzung des dabei entstehenden Phasengemisches außerhalb der Mischdüse im Reaktorbehälter erfolgt. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Einrichtung für den Betrieb von begasten Bioreaktoren zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einem Reaktorbehälter mit einem im inneren angeordneten beidseitig offenen Rohr, dessen oberem Ende eine Mischdüse gegenüberliegt, mittels der der Gaseintrag und der Substrateintrag mischbar und in das Rohr drückbar sind, wobei die Mischdüse in die Reaktorsuspension tauchend gestaltet ist, mit je einer Eintrittsöffnung für den Gaseintrag und den Substrateintrag, einer Austrittsöffnung für das Phasengemisch, den Mischstrecken und mindestens einer Ansaugöffnung für die Substratsuspension.

Es sind vollaufgemischte Reaktoren für biokatalytische Prozesse bekannt, in denen Rohstoffe unter Ausnutzung des Synthesepotentials lebender Mikroorganismenzellen in definierte Produkte umgewandelt werden (Versorgungswirtschaft) oder aber organisch belastete Abläufe durch Mikroorganismen mineralisiert, d. h. gereinigt werden (Entsorgungswirtschaft).

Es ist auch bekannt, zur Erfüllung dieser Erfordernisse Reaktortypen unterschiedlicher Ausführungsvarianten, wie begaste Schlaufenfermenter mit einem Stoffkreislauf, einzusetzen. Die eingesetzten Schlaufenreaktoren weisen eine definiert gerichtete innere oder äußere Zirkulation auf (Zeitschrift "Chem. Ing. Techn.", 1974, 46, 701). Des weiteren ist ein Kompaktreaktor bekannt, der im Inneren des geschlossenen Reaktorbehälters ein beidseitig offenes Rohr besitzt. Am oberen Ende des Rohres ist eine Mischdüse angeordnet, mit der die gasförmigen Bestandteile und die Suspension in das Innenrohr gedrückt werden. Die geklärte Suspension wird zum Teil in ein neben dem Reaktor angeordnetes Absetzgefäß abgeführt, während der andere Teil mittels Pumpe wieder der Mischdüse zugeführt wird. Ein weiterer noch im Reaktor befindlicher Teil wird am oberen Ende des Innenrohres durch die Sogwirkung der Zweistoffdüse in das Innenrohr zurückgesaugt, wobei die Gasblasen und die Bakterienflocken erneut dispergiert werden. Aus dem Absetzgefäß wird das gereinigte Abwasser und ein Teil des Bioschlammes abgeführt. Der andere Teil des Bioschlammes wird in den Reaktor zurückgeführt.

Aus der DE-Patentschrift 9 20 844 ist es bekannt, die Begasung einer Suspension mittels eines durch einen Motor angetriebenen Schleuderrades zu verbessern, das mit Bohrungen versehen und im oberen Teil des Leitrohres vorgesehen ist. Eine Förderschraube kann dabei die Suspension innerhalb des Leitrohres zu dem Schleuderrad fördern. Entsprechend dem DE-Gebrauchsmuster 70 32 241 ist es dabei auch möglich, den Bioreaktor in seiner Längsachse horizontal anzuordnen, um den Leistungsbedarf für die Durchmischung zu verringern, weil dann die Gaszufuhr bei geringem Druck erfolgen kann.

Es ist auch aus der DE-Auslegeschrift 24 33 414 bereits bekannt, das Schleuderrad in der Nähe des Reaktorbodens anzuordnen, so daß dieses zusammen mit ei-

ner ringförmigen Verengung im Leitrohr an dessen oberem Ende, die durch die Anordnung eines gaszuführenden Körpers verursacht wird, eine Durchgasung der Suspension bewirkt. Durch den von dem Schleuderrad erzeugten Abwärtssog der Suspension, die dadurch in der ringförmigen Verengung ihre größte Strömungsgeschwindigkeit hat, wird das Gas angesaugt.

Bei den zuletzt beschriebenen Einrichtungen ist es nachteilig, daß die Durchwirbelung mit motorgetriebenen, mechanischen Hilfsmitteln erfolgt, so daß eine erhebliche Energiezufuhr unvermeidlich ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung für den Betrieb von derartigen Bioreaktoren zu schaffen, mit denen eine weitere Verbesserung des mikrobenschonenden Sauerstoffeintrags in die Suspension eines Bioreaktorinhalts zur Erhöhung der mikrobiellen Stoffwechseltätigkeit erreicht wird, die Strömungs- und Verwirbelungsprozesse im Reaktorbehälter verbessert werden sowie eine bessere Ausnutzung der Biomasse erfolgt, jedoch ohne daß dafür motorgetriebene Verwirbelungseinrichtungen eingesetzt werden müßten.

Erfindungsgemäß wird bei dem eingangs genannten Verfahren die Aufgabe dadurch gelöst, daß im oberen Teil der Mischdüse der Gasstrom in einer ersten Mischstrecke mit dem Fluidstrahl des Substrateintrages vermischt wird, daß das daraus entstehende Suspensionsgemisch in eine zweite Mischstrecke gelangt, in der dem Suspensionsgemisch über einen Ansaugkanal aus dem Reaktorbehälter angesaugte Substratsuspension zugeführt und in einer weiteren Mischstrecke mit dieser vermischt wird.

Weiterhin wird die Aufgabe durch die eingangs genannte Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens gelöst, bei der die Ansaugöffnung mit einem in der Mischdüse ausgebildeten Ringkanal in Verbindung stehend und der Gaseintrag am Ende der ersten Mischstrecke über einen Ringkanal erfolgreich gestaltet sind.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen in Verbindung mit Beschreibung und Zeichnung hervor.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß — ohne motorgetriebene Verwirbelungseinrichtungen — neben Turbulenzerzeugung auch der notwendig hohe Anteil an Sauerstoff mikrobenschonend eingebracht werden kann. Da sich der zur biochemischen Oxidation bereitgestellte, gelöste Sauerstoff in der Flüssigkeitsphase für ein turbulentes System in nächster Näherung quantitativ proportional zum eingetragenen Luftsauerstoff darstellt, bedeutet dies ein geeigneteres Milieu für obligate Mikroben. Durch Verwendung geeigneter strömungstechnischer Parameter wird die Scherbelastung dergestalt minimiert, daß lediglich die Bakterienagglomerate mechanisch zerkleinert bzw. aufgelöst werden und so eine Vereinzelung der Mikroorganismen erreicht wird. Dadurch entstehen große Oberflächen, die für Substrat und Sauerstoff gut zugänglich sind und den Abtransport von Stoffwechselprodukten fördern. Somit kann ein sehr hoher Anteil der Mikroben einen effektiven Metabolismus durchführen. Die erfindungsgemäße Lösung ermöglicht eine energiesparende, störungsunanfällige, umweltverträgliche Betriebsweise des Bioreaktors. Gegenüber bekannten Lösungen wird eine erhebliche Leistungssteigerung bei gleichem Wirkungsgrad erzielt.

Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels nachfolgend näher beschrieben werden.

In der dazugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1 den Systemaufbau eines Reaktionsraumes im Schnitt mit Strömungsführung und Darstellung der Stoffströme, stark schematisiert,

Fig. 2 einen Abschnitt einer Mischdüse mit einem gewendelten zentralen Teil im Längsschnitt,

Fig. 3 einen Abschnitt einer Mischdüse mit einer gewendelten Außenfläche im Längsschnitt,

Fig. 4 einen Schnitt gemäß Linie IV-IV in Fig. 5,

Fig. 5 eine Mischdüse gemäß der Erfindung mit dreistufiger Mischstrecke im Längsschnitt,

Fig. 6 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Mischdüse im Längsschnitt und

Fig. 7 eine Mischdüse entsprechend Fig. 5, jedoch mit zweistufiger Mischstrecke.

Fig. 1 zeigt ein im Innenraum eines Reaktorbehälters 10 angeordnetes Rohr 4. Eine Mischdüse 1 sitzt oberhalb des Rohres 4 in einer gelochten Zentrierscheibe 7 und drückt die Reaktorsuspension I + III im Rohr 4 nach unten. Am Boden 9 des Reaktorbehälters 10 wird sie durch dessen ringförmige Ausbildung nach außen umgelenkt und steigt im Raum 5 zwischen Rohr 4 und Mantel des Reaktorbehälters 10 nach oben. Die Querschnittsverhältnisse sind so gewählt, daß eine Druckentspannung beim Eintritt in den Raum zwischen dem Rohr und dem Reaktorbehälter 10 eintritt. Ein großer Teilvolumenstrom (punktiert gezeichnet) wird über Ansaugöffnungen 6 der Mischdüse 1 angesaugt, mit dem Substrat vermischt und erneut dem Kreislauf zugeführt. Ein Teil der Flüssigkeit kann auch wieder von der Pumpe 2 angesaugt werden, um dann erneut in der Mischdüse über die Leitung 16 zugeführt zu werden. Durch Reaktorgeometrie wird eine optimale Durchmischung sichergestellt. Um eine sichere schlaufenförmige Strömungsführung zu erhalten, befindet sich oberhalb und seitlich des Rohres 4 ein Umlenkring 8, der die aufsteigenden Fluidmassen zur Mittelachse des Reaktorbehälters 10 hin ablenkt, so daß sie gerichtet in den Bereich der Ansaugdüsen 6 der Mischdüse 1 geleitet werden. Dabei wird auch ein Teil des eingetragenen Gases wieder mit angesaugt, um erneut eindispersiert zu werden. Dadurch steigt die Sauerstoffausnutzung erheblich an. Die Zentrierscheibe 7 sorgt für eine sichere Fluidstrahlführung aus der Düse in die Achse des Rohres 4. Durch diese Zentrierscheibe 7 findet zusätzlich eine Rückhaltung der aufsteigenden Gasphase statt. Dadurch kann der Ansaugöffnung 6 der dritten Mischstrecke C (siehe Fig. 5/6) der Mischdüse 1 zusätzlich Gas zugeführt werden. Die Sauerstoffausnutzung wird so nochmals gesteigert. Um einen totzonenfreien Reaktionsraum zu erhalten, ist der Boden 9 wie ein um 180° gekrümmter Diffusor ausgearbeitet. Ein erleichtertes Ausströmen aus dem Rohr 4 wird auch hier durch seine geringe Erweiterung erreicht. Die gereinigte abgeführte Flüssigkeit wird von der Wasseroberfläche über einen Substrataustrag II in einen Sedimeter 11 geleitet. Für die Rückgewinnung der Biomasse ist der Sedimeter 11 über eine Pumpe 23 und eine Leitung 12 mit einem Substrateintrag III verbunden. Die gereinigte Flüssigkeit wird mittels einer Abwasserleitung 13 abgeführt.

Fig. 2 und 3 zeigen, wie der von der Pumpe 2 beschleunigte Fluidstrahl des Substrateintrages III durch eine wendelförmige Aussparung 17, 18 an der Innen- bzw. Außenwand einer Ringdüse 19 in eine Rotationsbewegung versetzt wird; die Ringdüse 19 ist ein (oberer) Teil der Mischdüse 1.

In Fig. 4 ist die tangentielle Zuführung des Substrateintrages III in einen Umlenkring der Ringdüse 19 dargestellt.

Die Fig. 5, 7 und 6 zeigen zwei unterschiedliche Ausführungsformen einer Mischdüse 1. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Ausführungsformen besteht darin, daß bei der Mischdüse nach Fig. 5 die Einleitung des Substrateintrages III radial zur Strömungsrichtung innerhalb der Mischdüse 1 erfolgt, während bei der Mischdüse nach der Fig. 6 der Substrateintrag III in Längsrichtung der Mischdüse 1 erfolgt.

Der Gaseintrag I erfolgt bei der Mischdüse nach Fig. 5 über eine mit einem Kanal versehene Düse 20, die von einem Ringkanal 19 umgeben ist. Über den Anschluß III wird das Substrat über die Leitung 16 in die Mischdüse 1 eingedrückt und tritt dann in den Ringkanal 19 ein. Durch wendelförmige Aussparungen 17 auf der Außenseite der Düse 20 wird das Substrat III zusätzlich in Rotation versetzt, so daß eine sehr gute Vermischung von Gas und Substrat in der ersten Mischstrecke A erfolgt. Der Gaseintrag I wird nicht nur über die Düse 20 sondern zusätzlich über einen Ringkanal 21 durchgeführt, der über einen Kanal 24 mit dem Gaseintrag I in Verbindung steht. Dieser Ringkanal mündet am Ende der Mischstrecke A auf der Außenseite des Fluidstromes, so daß in der sich anschließenden zweiten Mischstrecke B eine innige Vermischung von Gas und Substrat erfolgt. Bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 7 entfällt die zentrale Düse 20, so daß das Gas ausschließlich über den Ringkanal 21 zugeführt wird. An die zweite Mischstrecke B schließt sich eine dritte Mischstrecke C an, wobei der Durchmesser der Mischstrecke C größer als der der Mischstrecke B ist. Im Übergangsbereich der Mischstrecke B in die Mischstrecke C ist ein weiterer Ringkanal 22 angeordnet, der über Ansaugöffnungen 6 mit der Suspension in dem Reaktorbehälter 10 in Verbindung steht. Durch die Strömungsgeschwindigkeit des Substrats in der Mischdüse 1 wird ein Unterdruck in der Mischdüse erzeugt, so daß über die Ansaugöffnungen 6 und den Ringkanal 22 Reaktorsuspension und Gas angesaugt und mit dem Substrat in der folgenden Mischstrecke C vermischt wird.

Bei dem Ausführungsbeispiel nach der Fig. 6 sind gleichfalls 3 Mischstrecken A, B, C vorhanden, wobei der Gaseintrag zum einen mittig über die Düse 20 und zum anderen am Umfang über einen Ringkanal 21 erfolgt. Die Ausbildung der Ansaugöffnungen 6 und des Ringkanals 22 im Übergangsbereich der zweiten Mischstrecke B in die dritte Mischstrecke C ist entsprechend dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 gestaltet.

Der Substrateintrag III erfolgt über einen Kanal 25, der in einem Ringkanal 19 mündet, der die Düse 20 umgibt. Die Vermischung des Gaseintrages I und des Substrateintrages III erfolgt zweistufig in der Mischstrecke A und anschließend in der Mischstrecke B, wobei hier wiederum über einen Ringkanal 21 auf der Peripherie der Gasstrom zugegeben wird.

Der besondere Vorteil der erfindungsgemäß ausgebildeten Mischdüse liegt in der geschichteten Zuführung und der vermischenden Rotation der Gas-Flüssig-Phasen. Dabei ist in der Düse das Verhältnis von Rotation zu Translation im Treibstrahl so ausgewogen, daß eine innige Durchmischung und keine Separation erfolgt. Von besonderem Vorteil ist auch die Dreistufigkeit des Düsenaufbaus. Die beiden ersten Mischstrecken A und B dienen der Anreicherung mit Sauerstoff und der Gleichverteilung der Phasen, während vor der dritten Mischstrecke C Suspension und Gas aus dem Reaktorraum angesaugt und mit den ankommenden Phasen nochmals vermischt wird. Somit wird die Verweildauer

der Phasen im Reaktorraum entscheidend verkürzt und die Gasausnutzung gesteigert. Dadurch kann der Reaktionsraum noch intensiver genutzt bzw. bei gleicher Stoffwechselleistung kleiner ausgeführt werden. Der Substratumsatz kann also in bezug auf die Sauerstoffzufuhr durch die dritte Mischstrecke C nochmals gesteigert werden.

Es ist insbesondere darauf hinzuweisen, daß durch die wendelförmige Ausgestaltung ein großer Rotationsanteil der Flüssigphase in der Ringdüse erhalten wird, was zu einem hohen Saugdruck aufgrund der entstehenden Flichkraft in der Düsenmittelachse und somit zu einer Erhöhung des angesaugten Gasvolumenstromes führt. Durch die anschließende Mischstrecke A wird, bedingt durch die hohe Relativgeschwindigkeit der Partikel (Gas/Flüssigkeit/Flocken) zueinander, eine gute Durchmischung sowohl in axialer als auch in radialer Richtung erzielt über einen weiteren Ringkanal 21 am Ende der Mischstrecke A wird ein weiterer Gasanteil zugeführt, wobei hier auf die Dimensionierung des Eintrittspaltes, durch den in Rotation versetzten Treibstrahl mit seiner um den Faktor 1000 höheren Dichte gegenüber dem Gas und durch die hohe Relativgeschwindigkeit in Längsrichtung der Mischdüse sowie durch die beschriebene Ausbildung des Gasführungsweges eine äußerst intensive Durchmischung erhalten wird.

Die für den Sauerstofftransfer maßgeblichsten Parameter sind in der sog. Stofftransportgleichung zusammengefaßt:

$$\frac{\dot{m}}{V_L} = k_L \cdot a \cdot (c_0 - c) = \text{OTR}$$

Demnach ergibt sich der übergehende Massenstrom des Sauerstoffes \dot{m} pro Flüssigkeitsvolumen V_L des Reaktorbehälters aus dem Produkt von Stoffübergangskoeffizienten k_L (m/s), spezifischer Phasengrenzfläche a (m^2/m^3) und dem treibenden Sauerstoff-Konzentrationsgefälle $(c_0 - c)$ in der Einheit kg/m^3 , wobei c_0 die Sättigungslöslichkeit (kg/m^3) und c die Konzentration in der Masse der Flüssigkeit darstellt.

Patentansprüche

1. Verfahren für den Betrieb von begasten Bioreaktoren zum Verbessern der schlaufenförmigen Zirkulation einer in den Reaktorbehälter eingebrachten, aus einem Substrat und darin befindlichen Mikroorganismen bestehenden Suspension, die mit einem Gasstrom in einer Mischdüse gemischt wird, wobei die Umwälzung des dabei entstehenden Phasengemisches außerhalb der Mischdüse im Reaktorbehälter erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß im oberen Teil der Mischdüse (1) der Gasstrom (I) in einer ersten Mischstrecke (A) mit dem Fluidstrahl des Substrateintrages (III) vermischt wird, daß das daraus entstehende Suspensionsgemisch in eine zweite Mischstrecke (B) gelangt, in der dem Suspensionsgemisch über einen Ansaugkanal (22) aus dem Reaktorbehälter angesaugte Substratsuspension (I' + III') zugeführt und in einer weiteren Mischstrecke (C) mit dieser vermischt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Gaseintrag (I) in der Mischstrecke (A) an zwei in Stromrichtung beabstandeten Stellen (20, 21) erfolgt, wobei der eine Eintrag (20) in der Strommitte und der zweite Eintrag (21) an

der Stromaußenseite erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Substrateintrag (III) durch Leitflächen (17, 18) in Rotation versetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb der ersten Mischstrecke (A) für das Gemisch das Verhältnis der Treibstrahlvektoren der Translation und der Rotation größer als 1 ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Austrittsgeschwindigkeit des Gemisches aus der Mischdüse (1) so groß ist, daß Reaktorsuspension aus dem Raum (5) angesaugt und in das Rohr (4) eingespeist wird.
6. Einrichtung für den Betrieb von begasten Bioreaktoren zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bestehend aus einem Reaktorbehälter mit einem im Inneren angeordneten beidseitig offenen Rohr, dessen oberem Ende eine Mischdüse gegenüberliegt, mittels der der Gaseintrag und der Substrateintrag mischbar und in das Rohr drückbar sind, wobei die Mischdüse in die Reaktorsuspension tauchend gestaltet ist, mit je einer Eintrittsöffnung für den Gaseintrag und den Substrateintrag, einer Austrittsöffnung für das Phasengemisch, den Mischstrecken und mindestens einer Ansaugöffnung für die Substratsuspension, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansaugöffnung (6) mit einem in der Mischdüse (1) ausgebildeten Ringkanal (22) in Verbindung stehend und der Gaseintrag (I) am Ende der ersten Mischstrecke (A) über einen Ringkanal (21) erfolgend gestaltet sind.
7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine zentral in die Mischdüse (1) führende, aus der Eintrittsöffnung für den Gaseintrag (I) gespeiste Leitung (20) für einen ersten Teil des Gaseintrages (I) und ein in der Wandung der Mischdüse (1) ausgebildeter Ringkanal (21) für einen zweiten Teilstrom des Gaseintrages (I) vorgesehen sind, über die der Gaseintrag (I) in die erste Mischstrecke (A) einleitbar ist.
8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Mischstrecke (A) der Mischdüse (1) an der Innenwand oder Außenwand angeordnete wendelförmige Aussparungen (17; 18) oder wendelförmige Stege aufweist.
9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktorbehälter (10) unterhalb des Rohres (4) einen Boden (9) mit umlaufenden ringförmigen Vertiefungen aufweist.
10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Reaktorbehälter (10) am oberen Bereich des Rohres (4) ein umlaufender Umlenkring (8) angeordnet ist.
11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Austrittsquerschnitt aus dem Rohr (4) durch die Gestaltung des Bodens (9) kleiner ist als der Querschnitt zwischen Reaktorwand und Rohr (4).
12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß für die Fluidstrahlführung über dem Rohr (4) eine gelochte Zentrierscheibe (7) vorhanden ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

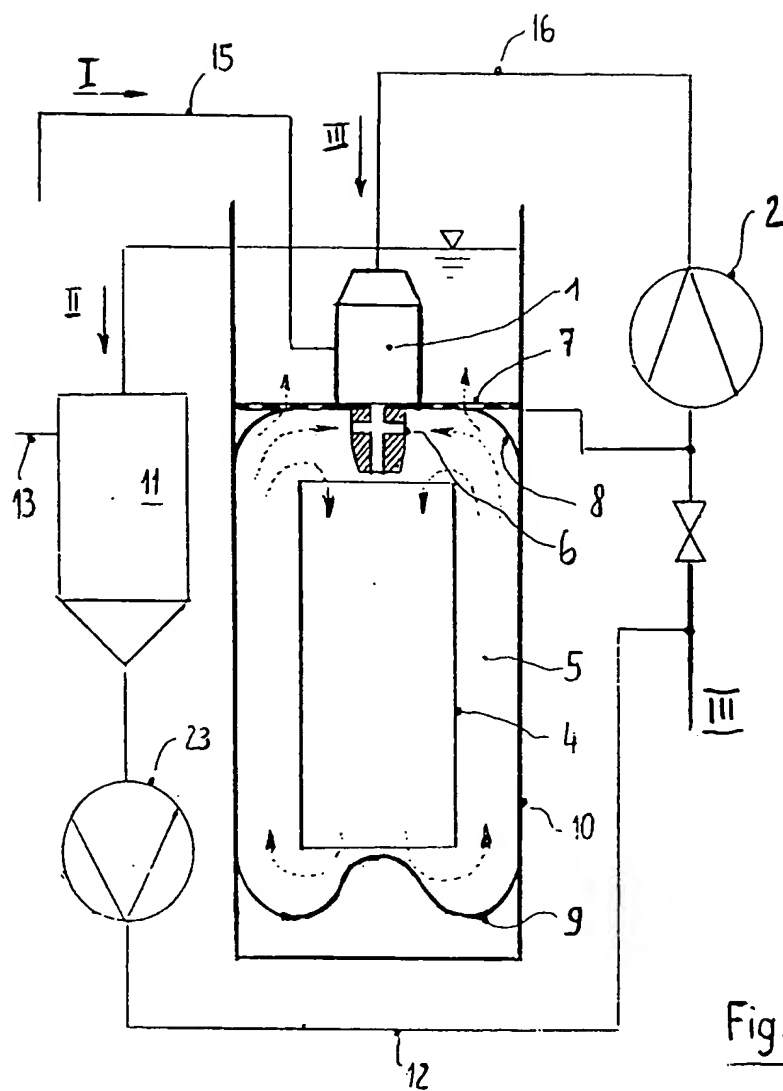


Fig. 1

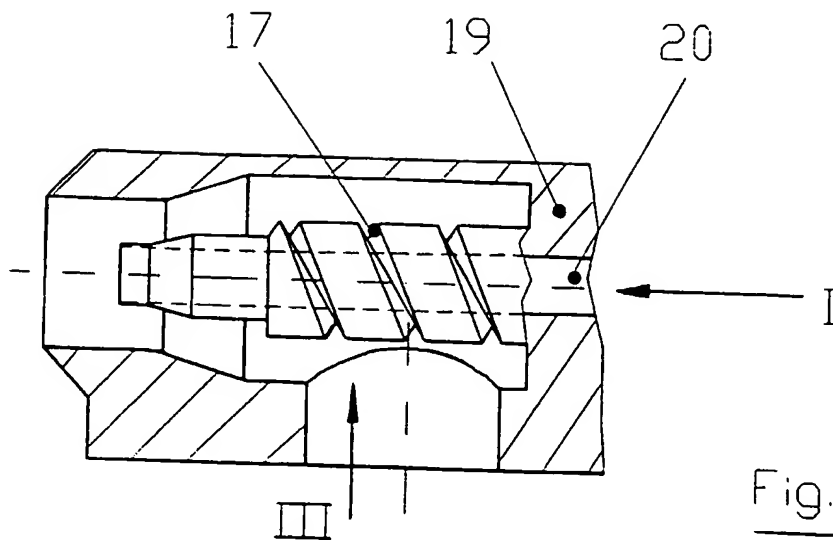


Fig. 2

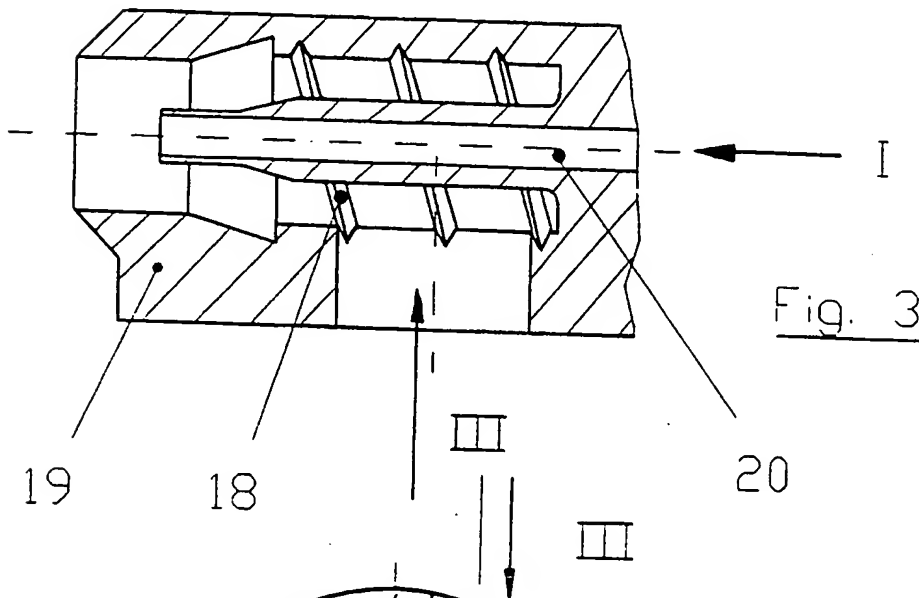


Fig. 3

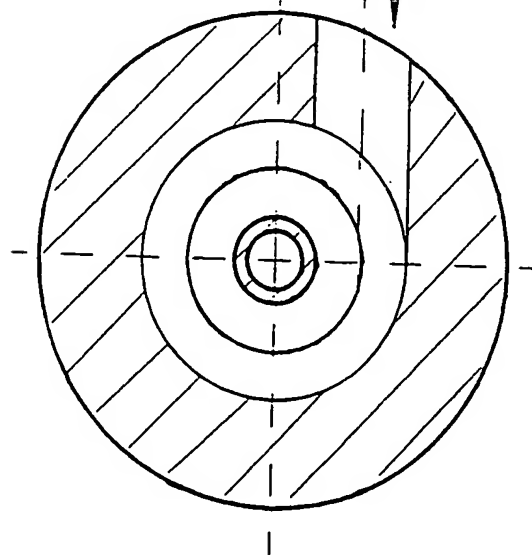


Fig. 4

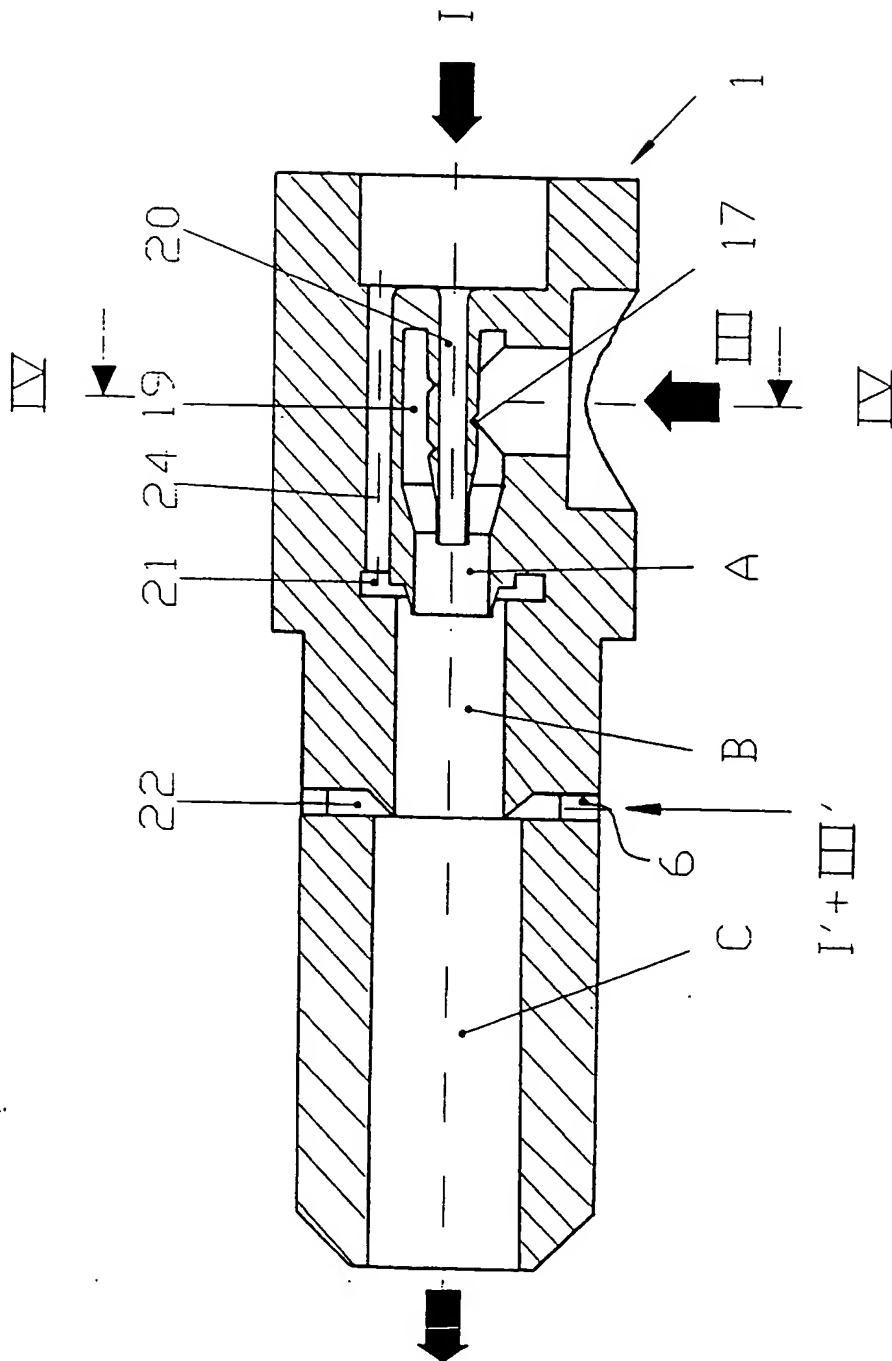


Fig. 5

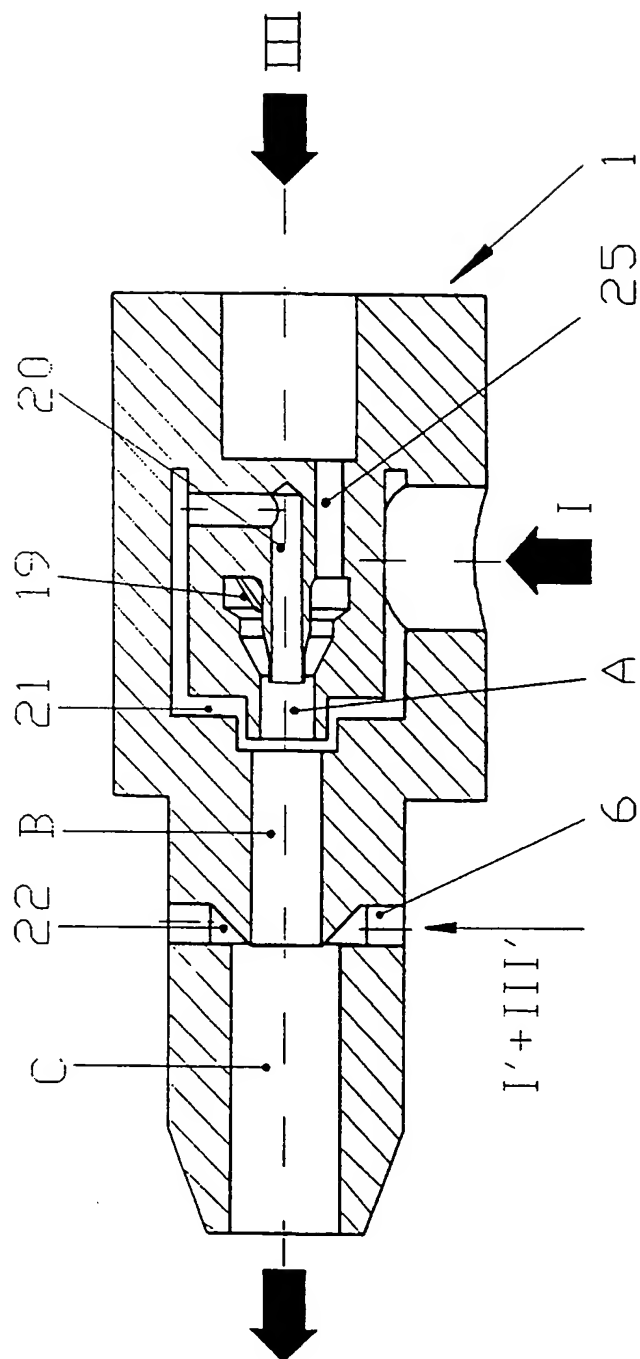
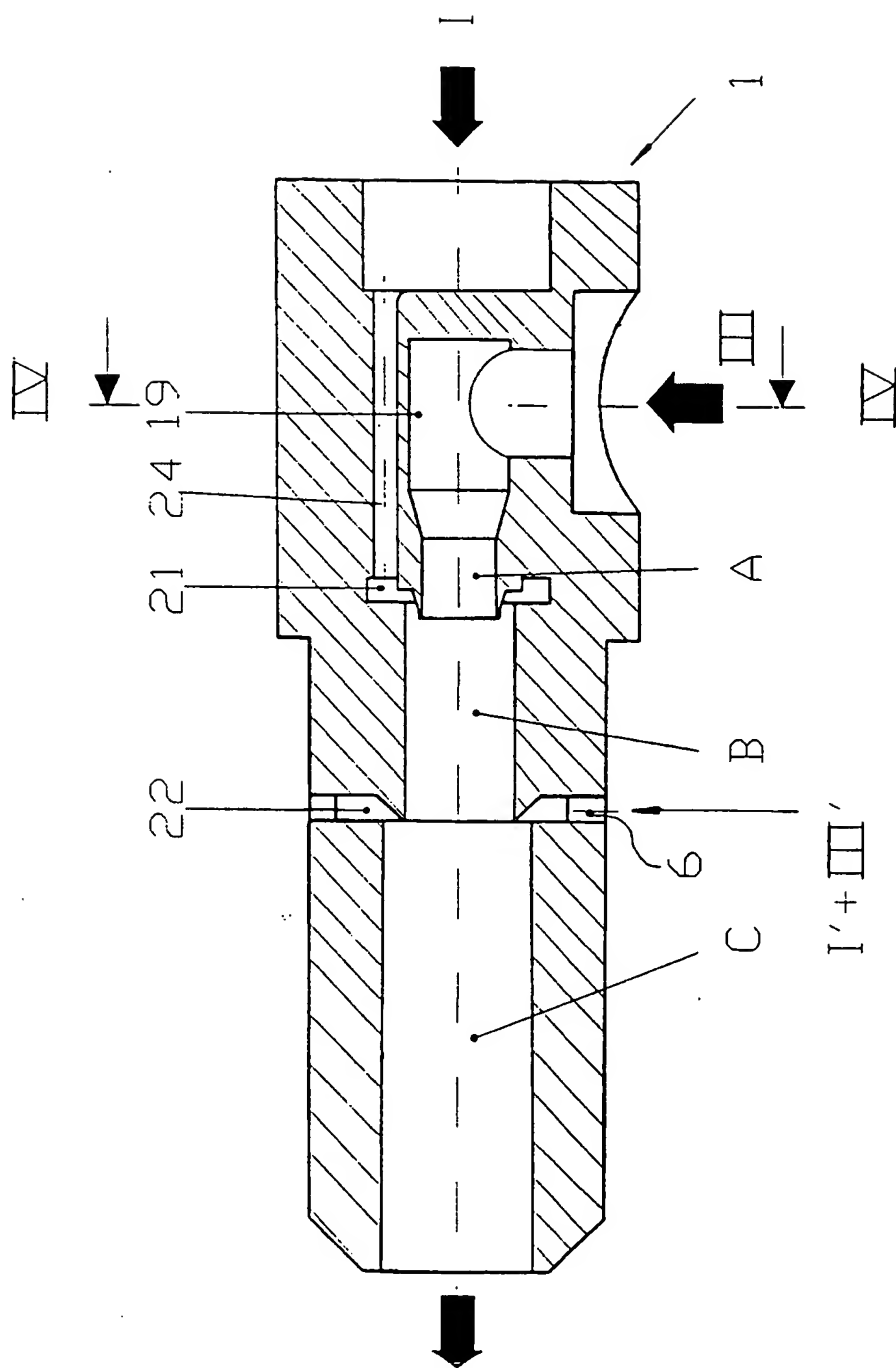


Fig. 6



Original document

Glass contg. bio-reactor with improved circulation - comprises mixing nozzle composed of first mixing section for mixing microorganism suspension with gas stream, and second section for further adding suspension for final mixing in third section

Patent number: DE4105726

Publication date: 1992-09-17

Inventor:

Applicant:

Classification:

- international: *B01F3/08; B01F5/02; B01F5/04; B01J4/00; C12M1/04; C12M1/08; B01F3/04; B01F3/08; B01F5/02; B01F5/04; B01J4/00; C12M1/04; B01F3/04; (IPC1-7): B01F3/04; C02F3/20; C12M1/04*

- european:

Application number: DE19914105726 19910223

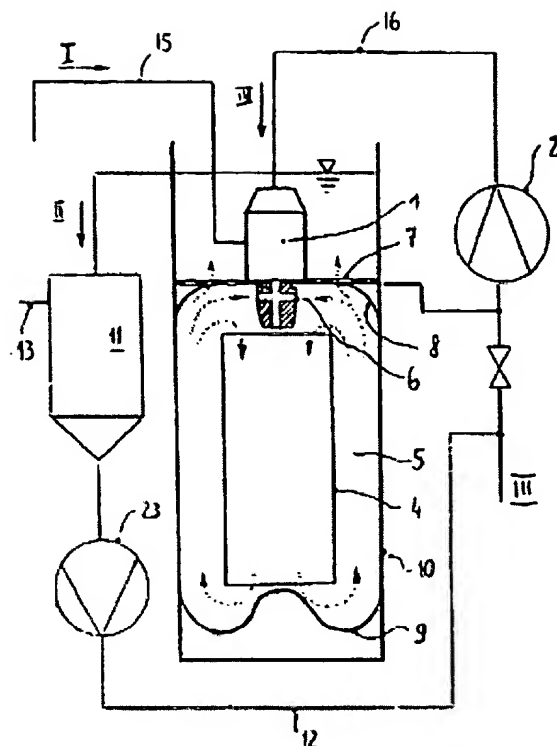
Priority number(s): DE19914105726 19910223

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE4105726

In the bioreactor, in which a suspension of microorganisms on a substrate is mixed with a gas stream in a mixing nozzle, the nozzle has a first mixing section (A), in which the gas stream (I) is mixed with the fluid stream of the substrate input (III), forming a suspension mixture which passes to a second mixing section (B). In the second section, substrate suspension drawn in from the reactor vessel via a suction channel (22) is added to the mixture and mixed with it in a third mixing section (C).
ADVANTAGE - Improved circulation



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Description of DE4105726

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für den Betrieb von begastem Bioreaktoren zum Verbessern der schlaufenförmigen Zirkulation einer in den Reaktorbehälter eingebrachten, aus einem Substrat und darin befindlichen Mikroorganismen bestehenden Suspension, die mit einem Gasstrom in einer Mischdüse gemischt wird, wobei die Umwälzung des dabei entstehenden Phasengemisches ausserhalb der Mischdüse im Reaktorbehälter erfolgt. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Einrichtung für den Betrieb von begastem Bioreaktoren zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einem Reaktorbehälter mit einem im inneren angeordneten beidseitig offenen Rohr, dessen oberem Ende eine Mischdüse gegenüberliegt, mit der der Gaseintrag und der Substrateintrag mischbar und in das Rohr drückbar sind, wobei die Mischdüse in die Reaktorsuspension tauchend gestaltet ist, mit je einer Eintrittsöffnung für den Gaseintrag und den Substrateintrag, einer Austrittsöffnung für das Phasengemisch, den Mischstrecken und mindestens einer Ansaugöffnung für die Substratsuspension.

Es sind volldurchmischte Reaktoren für biokatalytische Prozesse bekannt, in denen Rohstoffe unter Ausnutzung des Synthesepotentials lebender Mikroorganismenzellen in definierte Produkte umgewandelt werden (Versorgungswirtschaft) oder aber organisch belastete Abläufe durch Mikroorganismen mineralisiert, d. h. gereinigt werden (Entsorgungswirtschaft).

Es ist auch bekannt, zur Erfüllung dieser Erfordernisse Reaktortypen unterschiedlicher Ausführungsvarianten, wie begaste Schlaufenfermenter mit einem Stoffkreislauf, einzusetzen. Die eingesetzten Schlaufenreaktoren weisen eine definiert gerichtete innere oder äussere Zirkulation auf (Zeitschrift "Chem. Ing. Techn.", 1974, 46, 701). Des weiteren ist ein Kompaktreaktor bekannt, der im Inneren des geschlossenen Reaktorbehälters ein beidseitig offenes Rohr besitzt. Am oberen Ende des

Rohres ist eine Mischdüse angeordnet, mit der die gasförmigen Bestandteile und die Suspension in das Innenrohr gedrückt werden. Die geklärte Suspension wird zum Teil in ein neben dem Reaktor angeordnetes Absetzgefäß abgeführt, während der andere Teil mittels Pumpe wieder der Mischdüse zugeführt wird. Ein weiterer noch im Reaktor befindlicher Teil wird am oberen Ende des Innenrohres durch die Sogwirkung der Zweistoffdüse in das Innenrohr zurückgesaugt, wobei die Gasblasen und die Bakterienflocken erneut dispergiert werden. Aus dem Absetzgefäß wird das gereinigte Abwasser und ein Teil des Bioschlammes abgeführt. Der andere Teil des Bioschlammes wird in den Reaktor zurückgeführt.

Aus der DE-Patentschrift 9 20 844 ist es bekannt, die Begasung einer Suspension mittels eines durch einen Motor angetriebenen Schleuderrades zu verbessern, das mit Bohrungen versehen und im oberen Teil des Leitrohres vorgesehen ist. Eine Förderschraube kann dabei die Suspension innerhalb des Leitrohres zum Schleuderrad fördern. Entsprechend dem DE-Gebrauchsmuster 70 32 241 ist es dabei auch möglich, den Bioreaktor in seiner Längsachse horizontal anzuordnen, um den Leistungsbedarf für die Durchmischung zu verringern, weil dann die Gaszufuhr bei geringem Druck erfolgen kann.

Es ist auch aus der DE-Auslegeschrift 24 33 414 bereits bekannt, das Schleuderrad in der Nähe des Reaktorbodens anzuordnen, so dass dieses zusammen mit einer ringförmigen Verengung im Leitrohr an dessen oberem Ende, die durch die Anordnung eines gaszuführenden Körpers verursacht wird, eine Durchgasung der Suspension bewirkt. Durch den von dem Schleuderrad erzeugten Abwärtssog der Suspension, die dadurch in der ringförmigen Verengung ihre grösste Strömungsgeschwindigkeit hat, wird das Gas angesaugt.

Bei den zuletzt beschriebenen Einrichtungen ist es nachteilig, dass die Durchwirbelung mit motorgetriebenen, mechanischen Hilfsmitteln erfolgt, so dass eine erhebliche Energiezufuhr unvermeidlich ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung für den Betrieb von derartigen Bioreaktoren zu schaffen, mit denen eine weitere Verbesserung des mikrobenschonenden Sauerstoffeintrags in die Suspension eines Bioreaktorinhalts zur Erhöhung der mikrobiellen Stoffwechseltätigkeit erreicht wird, die Strömungs- und Verwirbelungsprozesse im Reaktorbehälter verbessert werden sowie eine bessere Ausnutzung der Biomasse erfolgt, jedoch ohne dass dafür motorgetriebene Verwirbelungseinrichtungen eingesetzt werden müssten.

Erfindungsgemäss wird bei dem eingangs genannten Verfahren die Aufgabe dadurch gelöst, dass im oberen Teil der Mischdüse der Gasstrom in einer ersten Mischstrecke mit dem Fluidstrahl des Substrateintrages vermischt wird, dass das daraus entstehende Suspensionsgemisch in eine zweite Mischstrecke gelangt, in der dem Suspensionsgemisch über einen Ansaugkanal aus dem Reaktorbehälter angesaugte Substratsuspension zugeführt und in einer weiteren Mischstrecke mit dieser vermischt wird.

Weiterhin wird die Aufgabe durch die eingangs genannte Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens gelöst, bei der die Ansaugöffnung mit einem in der Mischdüse ausgebildeten Ringkanal in Verbindung stehend und der Gaseintrag am Ende der ersten Mischstrecke über einen Ringkanal erfolgend gestaltet sind.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen in Verbindung mit Beschreibung und Zeichnung hervor.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass - ohne motorgetriebene Verwirbelungseinrichtungen - neben Turbulenzerzeugung auch der notwendig hohe Anteil an Sauerstoff mikrobenschonend eingebracht werden kann. Da sich der zur biochemischen Oxidation bereitgestellte, gelöste Sauerstoff in der Flüssigkeitsphase für ein turbulentes System in nächster Näherung quantitativ

proportional zum eingetragenen Luftsauerstoff darstellt, bedeutet dies ein geeigneteres Milieu für obligate Mikroben. Durch Verwendung geeigneter strömungstechnischer Parameter wird die Scherbelastung dergestalt minimiert, dass lediglich die Bakterienagglomerate mechanisch zerkleinert bzw. aufgelöst werden und so eine Vereinzelung der Mikroorganismen erreicht wird. Dadurch entstehen grosse Oberflächen, die für Substrat und Sauerstoff gut zugänglich sind und den Abtransport von Stoffwechselprodukten fördern. Somit kann ein sehr hoher Anteil der Mikroben einen effektiven Metabolismus durchführen. Die erfindungsgemässe Lösung ermöglicht eine energiesparende, störungsunanfällige, umweltverträgliche Betriebsweise des Bioreaktors. Gegenüber bekannten Lösungen wird eine erhebliche Leistungssteigerung bei gleichem Wirkungsgrad erzielt.

Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels nachfolgend näher beschrieben werden.

In der dazugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1 den Systemaufbau eines Reaktionsraumes im Schnitt mit Strömungsführung und Darstellung der Stoffströme, stark schematisiert,

Fig. 2 einen Abschnitt einer Mischdüse mit einem gewendelten zentralen Teil im Längsschnitt,

Fig. 3 einen Abschnitt einer Mischdüse mit einer gewendelten Aussenfläche im Längsschnitt,

Fig. 4 einen Schnitt gemäss Linie IV-IV in Fig. 5,

Fig. 5 eine Mischdüse gemäss der Erfindung mit dreistufiger Mischstrecke im Längsschnitt,

Fig. 6 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemässen Mischdüse im Längsschnitt und

Fig. 7 eine Mischdüse entsprechend Fig. 5, jedoch mit zweistufiger Mischstrecke.

Fig. 1 zeigt ein im Innenraum eines Reaktorbehälters 10 angeordnetes Rohr 4. Eine Mischdüse 1 sitzt oberhalb des Rohres 4 in einer gelochten Zentrierscheibe 7 und drückt die Reaktorsuspension I + III im Rohr 4 nach unten. Am Boden 9 des Reaktorbehälters 10 wird sie durch dessen ringförmige Ausbildung nach aussen umgelenkt und steigt im Raum 5 zwischen Rohr 4 und Mantel des Reaktorbehälters 10 nach oben. Die Querschnittsverhältnisse sind so gewählt, dass eine Druckentspannung beim Eintritt in den Raum zwischen dem Rohr und dem Reaktorbehälter 10 eintritt. Ein grosser Teilvolumenstrom (punktlied gezeichnet) wird über Ansaugöffnungen 6 der Mischdüse 1 angesaugt, mit dem Substrat vermischt und erneut dem Kreislauf zugeführt. Ein Teil der Flüssigkeit kann auch wieder von der Pumpe 2 angesaugt werden, um dann erneut in der Mischdüse über die Leitung 16 zugeführt zu werden. Durch Reaktorgeometrie wird eine optimale Durchmischung sichergestellt. Um eine sichere schlaufenförmige Strömungsführung zu erhalten, befindet sich oberhalb und seitlich des Rohres 4 ein Umlenkring 8, der die aufsteigenden Fluidmassen zur Mittelachse des Reaktorbehälters 10 hin ablenkt, so dass sie gerichtet in den Bereich der Ansaugdüsen 6 der Mischdüse 1 geleitet werden. Dabei wird auch ein Teil des eingetragenen Gases wieder mit angesaugt, um erneut eindispersiert zu werden. Dadurch steigt die Sauerstoffausnutzung erheblich an. Die Zentrierscheibe 7 sorgt für eine sichere Fluidstrahlführung aus der Düse in die Achse des Rohres 4. Durch diese Zentrierscheibe 7 findet zusätzlich eine Rückhaltung der aufsteigenden Gasphase statt. Dadurch kann der Ansaugöffnung 6 der dritten Mischstrecke C (siehe Fig 5/6) der Mischdüse 1 zusätzlich Gas zugeführt werden. Die Sauerstoffausnutzung wird so nochmals gesteigert. Um einen totnonenfreien Reaktionsraum zu erhalten, ist der Boden 9 wie ein um 180 DEG gekrümmter Diffusor ausgearbeitet. Ein erleichtertes Ausströmen aus dem Rohr 4 wird auch hier durch seine geringe Erweiterung erreicht. Die gereinigte abgeführte Flüssigkeit wird von der Wasseroberfläche über einen Substrataustrag II in einen Sedimeter 11 geleitet. Für die Rückgewinnung der Biomasse ist d

Sedimenter 11 über eine Pumpe 23 und eine Leitung 12 mit einem Substrateintrag III verbunden. Die gereinigte Flüssigkeit wird mittels einer Abwasserleitung 13 abgeführt.

Fig. 2 und 3 zeigen, wie der von der Pumpe 2 beschleunigte Fluidstrahl des Substrateintrages III durch eine wendelförmige Aussparung 17, 18 an der Innen- bzw. Aussenwand einer Ringdüse 19 in eine Rotationsbewegung versetzt wird; die Ringdüse 19 ist ein (oberer) Teil der Mischdüse 1.

In Fig. 4 ist die tangentielle Zuführung des Substrateintrages III in einen Umlenkraum der Ringdüse 19 dargestellt.

Die Fig. 5, 7 und 6 zeigen zwei unterschiedliche Ausführungsformen einer Mischdüse 1. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Ausführungsformen besteht darin, dass bei der Mischdüse nach Fig. 5 die Einleitung des Substrateintrages III radial zur Strömungsrichtung innerhalb der Mischdüse 1 erfolgt, während bei der Mischdüse nach der Fig. 6 der Substrateintrag III in Längsrichtung der Mischdüse 1 erfolgt.

Der Gaseintrag I erfolgt bei der Mischdüse nach Fig. 5 über eine mit einem Kanal versehene Düse 20, die von einem Ringkanal 19 umgeben ist. Über den Anschluss III wird das Substrat über die Leitung 16 in die Mischdüse 1 eingedrückt und tritt dann in den Ringkanal 19 ein. Durch wendelförmige Aussparungen 17 auf der Aussenseite der Düse 20 wird das Substrat III zusätzlich in Rotation versetzt, so dass eine sehr gute Vermischung von Gas und Substrat in der ersten Mischstrecke A erfolgt. Der Gaseintrag I wird nicht nur über die Düse 20 sondern zusätzlich über einen Ringkanal 21 durchgeführt, der über einen Kanal 24 mit dem Gaseintrag I in Verbindung steht. Dieser Ringkanal mündet am Ende der Mischstrecke A auf der Aussenseite des Fluidstromes, so dass in der sich anschliessenden zweiten Mischstrecke B eine innige Vermischung von Gas und Substrat erfolgt. Bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 7 entfällt die zentrale Düse 20, so dass das Gas ausschliesslich über den Ringkanal 21 zugeführt wird. An die zweite Mischstrecke B schliesst sich eine dritte Mischstrecke C an, wobei der Durchmesser der Mischstrecke C grösser als der der Mischstrecke B ist. Im Übergangsbereich der Mischstrecke B in die Mischstrecke C ist ein weiterer Ringkanal 22 angeordnet, der über Ansaugöffnungen 6 mit der Suspension in dem Reaktorbehälter 10 in Verbindung steht. Durch die Strömungsgeschwindigkeit des Substrats in der Mischdüse 1 wird ein Unterdruck in der Mischdüse erzeugt, so dass über die Ansaugöffnungen 6 und den Ringkanal 22 Reaktorsuspension und Gas angesaugt und mit dem Substrat in der folgenden Mischstrecke C vermischt wird.

Bei dem Ausführungsbeispiel nach der Fig. 6 sind gleichfalls 3 Mischstrecken A, B, C vorhanden, wobei der Gaseintrag zum einen mittig über die Düse 20 und zum anderen am Umfang über einen Ringkanal 2 erfolgt. Die Ausbildung der Ansaugöffnungen 6 und des Ringkanals 22 im Übergangsbereich der zweiten Mischstrecke B in die dritte Mischstrecke C ist entsprechend dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 gestaltet.

Der Substrateintrag III erfolgt über einen Kanal 25, der in einem Ringkanal 19 mündet, der die Düse 20 umgibt. Die Vermischung des Gaseintrages I und des Substrateintrages III erfolgt zweistufig in der Mischstrecke A und anschliessend in der Mischstrecke B, wobei hier wiederum über einen Ringkanal 2 auf der Peripherie der Gasstrom zugegeben wird.

Der besondere Vorteil der erfindungsgemäss ausgebildeten Mischdüse liegt in der geschichteten Zuführung und der vermischenden Rotation der Gas-Flüssig-Phasen. Dabei ist in der Düse das Verhältnis von Rotation zu Translation im Treibstrahl so ausgewogen, dass eine innige Durchmischung und keine Separation erfolgt. Von besonderem Vorteil ist auch die Dreistufigkeit des Düsenaufbaus. Die beiden ersten Mischstrecken A und B dienen der Anreicherung mit Sauerstoff und der Gleichverteilung der Phasen, während vor der dritten Mischstrecke C Suspension und Gas aus dem Reaktorraum angesaugt und

mit den ankommenden Phasen nochmals vermischt wird. Somit wird die Verweildauer der Phasen im Reaktorraum entscheidend verkürzt und die Gasausnutzung gesteigert. Dadurch kann der Reaktionsraum noch intensiver genutzt bzw. bei gleicher Stoffwechselleistung kleiner ausgeführt werden. Der Substratumsatz kann also in bezug auf die Sauerstoffzufuhr durch die dritte Mischstrecke C nochmals gesteigert werden.

Es ist insbesondere darauf hinzuweisen, dass durch die wendelförmige Ausgestaltung ein grosser Rotationsanteil der Flüssigphase in der Ringdüse erhalten wird, was zu einem hohen Saugdruck aufgrund der entstehenden Fliehkraft in der Düsenmittellachse und somit zu einer Erhöhung des angesaugten Gasvolumenstromes führt. Durch die anschliessende Mischstrecke A wird, bedingt durch die hohe Relativgeschwindigkeit der Partikel (Gas/Flüssigkeit/Flocken) zueinander, eine gute Durchmischung sowohl in axialer als auch in radialer Richtung erzielt. Über einen weiteren Ringkanal 21 am Ende der Mischstrecke A wird ein weiterer Gasanteil zugeführt, wobei hier auf die Dimensionierung des Eintrittsspalt, durch den in Rotation versetzten Treibstrahl mit seiner um den Faktor 1000 höheren Dichte gegenüber dem Gas und durch die hohe Relativgeschwindigkeit in Längsrichtung der Mischdüse sowie durch die beschriebene Ausbildung des Gasführungsweges eine äusserst intensive Durchmischung erhalten wird.

Die für den Sauerstofftransfer massgeblichsten Parameter sind in der sog. Stofftransportgleichung zusammengefasst:

EMI11.1

Demnach ergibt sich der übergehende Massenstrom des Sauerstoffes @ pro Flüssigkeitsvolumen VL de Raktorbehälters aus dem Produkt von Stoffübergangskoeffizienten k_L (m/s), spezifischer Phasengrenzfläche a (m^2/m^3) und dem treibenden Sauerstoff-Konzentrationsgefälle ($c_0 - c$) in der Einheit kg/m^3 , wobei c_0 die Sättigungslöslichkeit (kg/m^3) und c die Konzentration in der Masse d Flüssigkeit darstellt.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Claims of DE4105726

1. Verfahren für den Betrieb von begasten Bioreaktoren zum Verbessern der schlaufenförmigen Zirkulation einer in den Reaktorbehälter eingebrachten, aus einem Substrat und darin befindlichen Mikroorganismen bestehenden Suspension, die mit einem Gasstrom in einer Mischdüse gemischt wird, wobei die Umwälzung des dabei entstehenden Phasengemisches ausserhalb der Mischdüse im Reaktorbehälter erfolgt, dadurch gekennzeichnet, dass im oberen Teil der Mischdüse (1) der Gasstrom (I) in einer ersten Mischstrecke (A) mit dem Fluidstrahl des Substrateintrages (III) vermischt wird, dass das daraus entstehende Suspensionsgemisch in eine zweite Mischstrecke (B) gelangt, in der dem Suspensionsgemisch über einen Ansaugkanal (22) aus dem Reaktorbehälter angesaugte Substratsuspension (I min + III min) zugeführt und in einer weiteren Mischstrecke (C) mit dieser vermischt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Gaseintrag (I) in der Mischstrecke (A) zwei in Stromrichtung beabstandeten Stellen (20, 21) erfolgt, wobei der eine Eintrag (20) in der Strommitte und der zweite Eintrag (21) an der Stromaussenseite erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Substrateintrag (III) durch Leitflächen (17, 18) in Rotation versetzt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb der ersten Mischstrecke (A) für das Gemisch das Verhältnis der Treibstrahlvektoren der Translation und der Rotation grösser als 1 ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Austrittsgeschwindigkeit des Gemisches aus der Mischdüse (1) so gross ist, dass Reaktorsuspension aus dem Raum (5) angesaugt und in das Rohr (4) eingespeist wird.
6. Einrichtung für den Betrieb von begasten Bioreaktoren zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bestehend aus einem Reaktorbehälter mit einem im Inneren angeordneten beidseitig offenen Rohr, dessen oberem Ende eine Mischdüse gegenüberliegt, mittels der der Gaseintrag und der Substrateintrag mischbar und in das Rohr drückbar sind, wobei die Mischdüse in die Reaktorsuspension tauchend gestaltet ist, mit je einer Eintrittsöffnung für den Gaseintrag und den Substrateintrag, einer Austrittsöffnung für das Phasengemisch, den Mischstrecken und mindestens einer Ansaugöffnung für die Substratsuspension, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansaugöffnung (6) mit einem in der Mischdüse (1) ausgebildeten Ringkanal (22) in Verbindung stehend und der Gaseintrag (I) am Ende der ersten Mischstrecke (A) über einen Ringkanal (21) erfolgend gestaltet sind.
7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine zentral in die Mischdüse (1) führend aus der Eintrittsöffnung für den Gaseintrag (I) gespeiste Leitung (20) für einen ersten Teil des Gaseintrags (I) und ein in der Wandung der Mischdüse (1) ausgebildeter Ringkanal (21) für einen zweiten Teilstrom des Gaseintrags (I) vorgesehen sind, über die der Gaseintrag (I) in die erste Mischstrecke (A) einleitbar ist.
8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischstrecke (A) der Mischdüse (1) an der Innenwand oder Aussenwand angeordnete wendelförmige Aussparungen (17; 18) oder wendelförmige Stege aufweist.
9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktorbehälter (1) unterhalb des Rohres (4) einen Boden (9) mit umlaufenden ringförmigen Vertiefungen aufweist.
10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass im Reaktorbehälter (1) am oberen Bereich des Rohres (4) ein umlaufender Umlenkring (8) angeordnet ist.
11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Austrittsquerschnitt aus dem Rohr (4) durch die Gestaltung des Bodens (9) kleiner ist als der Querschnitt zwischen Reaktorwand und Rohr (4).
12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass für die Fluidstrahlführung über dem Rohr (4) eine gelochte Zentrierscheibe (7) vorhanden ist.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide